Interferenz-Versuche

mit

VOCALKLÄNGEN.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

in der

Medizin, Chirurgie und Geburtshilfe

unter dem Präsidium von

Dr. P. Grützner,
o. ö. Prof. der Physiologie und Vorstand des physiol. Instituts
in Tübingen

der medizinischen Fakultät zu Tübingen

vorgelegt von

E. Sauberschwarz,
approb. Arzt.

Bonn, 1895.

Separat-Abdruck aus dem Archiv für die ges. Physiologie Bd. 61.
Verlag von Emil Strauss.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41552309_0043

I. Geschichtliche Vorbemerkungen.

Die Untersuchungen über das Wesen der Vocale sind schon sehr alt. Aber ohne mich weiter auf ihre Geschichte, betreffs deren ich auf Grützner (Physiologie der Stimme und Sprache)[1] verweise, einzulassen, führe ich nur an, dass schon Willis (1830) und Wheatstone (1837) eine befriedigende Theorie über die Vocalklänge aufgestellt haben, die aber längere Zeit in Vergessenheit gerieth.

Erst Donders[2] nahm die Untersuchungen wieder von neuem auf und stellte für jeden Vocal, indem er ihn flüsterte, eine charakteristische Abstimmung der Mundhöhle auf einen bestimmten Ton fest. (Die nach dieser Methode gefundenen Tonhöhen werden später angeführt werden.)

Dann war es vor allem Helmholtz[3], welcher die Theorie der Vocale von neuem wissenschaftlich ausgebildet und in seiner berühmten „Lehre von den Tonempfindungen" niedergelegt hat. Es gelang ihm vermittelst seiner Resonatoren die Vocalklänge in ihre einzelnen Theiltöne aufzulösen und sie andererseits aus einfachen Stimmgabeltönen von verschiedener Tiefe, Höhe und Stärke zusammenzusetzen.

---

1) Hermann, Handbuch d. Physiologie Bd. I, 2. S. 170 ff.

2) Donder's Archiv für die holländischen Beiträge zur Natur- und Heilkunde 1857.

3) Helmholtz, Lehre von den Tonempfindungen, Braunschweig 1877. S. 168.

Er kommt in seinen Tonempfindungen [1]) zu dem Resultat: „Die Vocalklänge unterscheiden sich von den Klängen der meisten anderen musikalischen Instrumente wesentlich dadurch, dass die Stärke ihrer Obertöne nicht von der Ordnungszahl derselben, sondern von deren absoluter Tonhöhe abhängt.“ Diese Tonhöhe ist nach ihm bedingt durch die Resonanz der Mundhöhle, die für jeden Vocal auf einen oder mehrere bestimmte Töne von immer der gleichen absoluten Höhe abgestimmt ist und immer dieselben für den Vocal charakteristischen Obertöne resonatorisch verstärkt. Daneben räumt er später, wohl auf Grund der Untersuchungen Auerbach's [2]), der Zahl und Art der Obertöne überhaupt, sowie ihrem gegenseitigen relativen Stärkeverhältniss unabhängig von ihrer absoluten Höhe, die also mit der Höhe des Vocals in gleichem Maasse steigen und fallen, eine wenn auch geringere Bedeutung ein. Er sagt [3]): „Die Vocalklänge unterscheiden sich von den Klängen der meisten andern musikalischen Instrumente also wesentlich dadurch, dass die Stärke ihrer Obertöne nicht nur von der Ordnungszahl derselben, sondern überwiegend von deren absoluter Tonhöhe abhängt“.

Inwieweit diese beiden Momente zusammen, das sogenannte absolute und das relative, oder nur das erstere allein die Vocalklänge charakterisirt, darüber herrscht auch bis heutigen Tags noch keine volle Einigkeit.

Hauptsächlich war es nach Grassmann [4]) und anderen Auerbach [2]), der das relative Moment geradezu als gleichberechtigt dem absoluten gegenüberstellt, was Helmholtz nie gethan hat. Er analysirt im Anschlusse an Helmholtz die Vocale ebenfalls vermittelst der Resonatoren und kommt zu dem Schlusse, dass das absolute und das relative Moment zwei Factoren darstellen, aus deren Zusammenwirken erst der charakteristische Vocalklang als Produkt hervorgehe. Nach diesem Princip stellt er dann gegenüber den scheinbaren seine reduzirten charakteristischen Tonhöhen fest, die weiter unten werden zusammengestellt werden.

---

1) 3. Ausgabe 1870, S. 179.

2) Poggendorff, Annalen der Physik u. Chemie Ergzgsbd. VIII. 1878, S. 177.

3) 4. Ausgabe. 1877, S. 191.

4) Siehe Grützner, Physiol. d. Stimme u. Sprache S. 179, Anm.

Auerbach vertritt also eine gemischte, absolut-relative Theorie und hat sie erst jüngst wieder in seinen „Physikalischen Grundlagen der Phonetik“ [1]) vertheidigt und vollkommen aufrecht erhalten.

Immer noch sieht er seine subjektive Methode, die gewiss für sein geübtes Ohr Gutes leistet, für ebenso beweiskräftig an wie die besonders neuerdings ausgebildeten objektiven Methoden die immer mehr und mehr das relative Moment zu eliminiren drohen.

Die erste dieser objektiven Methoden dürfte wohl von König[2]) herrühren, der mit Hilfe seiner manometrischen Kapsel die Vocale in Flammenbildern veranschaulichte.

Dann stellten er und Scott, sowie Donders vermittelst des Phonautographen die Vocalklänge rein objektiv graphisch dar, indem sie die Schwingungen einer angesprochenen Membran auf einen sich drehenden Cylinder aufzeichneten. Nach demselben Princip arbeitete Schnebeli und namentlich Hensen[3]), der mit seinem „Sprachzeichner“ wohl das Vollkommenste in der unmittelbaren Aufzeichnung von Sprachklängen leistete. Die von diesem Apparat gelieferten, mikroskopisch kleinen, äusserst zierlichen und charakteristischen Vocalcurven dürften ja wohl allgemein bekannt sein. Mit Hensen's Apparat arbeitete ausser seinem Erfinder dann Wendeler[4]), Martens[5]) und vor allem in eingehender und sorgfältiger Weise Pipping[6]), der eine grosse Anzahl der verschiedensten Vocalcurven anfertigte und analysirte, d. h. sie nach dem Fourier'schen Prinzip in ihre einzelnen harmonischen Theiltöne zerlegte.

Ohne Zweifel geht mit dieser graphischen Methode die Erkenntniss des Wesens der Vocale einen gewaltigen Schritt weiter: an der Wahrheit einer immer wieder in der gleichen Weise gezeichneten Curve kann nicht gerüttelt werden, falls man eben

---

1) Zeitschrift f. franz. Sprache u. Literatur Bd. XVI, S. 117, woselbst auch die gesammte neuere Literatur sorgfältig zusammen gestellt ist.

2) Poggendorff's Annalen Bd. 96, 1872, S. 161 und Quelques expériences d'acoustique Paris 1882, p. 47.

3) Ztschr. f. Biologie, Bd. 23. N. F. 5, S. 291.

4) Ebenda, S. 303.

5) Ebenda, Bd. 25. N. F. 7, S. 289.

6) Ebenda, Bd. 27. N. F. 9, S. 1 und Bd. 31, N. F. 13, S. 524.

nicht die unwahrscheinliche Annahme machen wollte, dass aus irgend welchen Ursachen die Membran sich nicht ganz genau den Luftschwingungen anschmiegt und demzufolge mehr oder weniger entstellte Curven giebt.

Pipping[1]) kommt nun auf Grund seiner Untersuchungen zu folgendem Resultat:

1) „Gesungene Vocalklänge enthalten lauter harmonische Theiltöne.

2) Die Intensitäten der einzelnen Theiltöne hängen in keinem nennenswerthen Grade von ihrer bezüglichen Ordnungszahl ab.

3) Die verschiedenen Vocale unterscheiden sich unter einander durch Verstärkungsgebiete von verschiedener Anzahl, Breite und Lage in der Tonskala."

Das wesentlich Neue in der Auffassung der Vocalklänge liegt wohl im dritten Satze.

Denn wenn auch schon Helmholtz[2]) die Verschiedenheit in der Breite der verstärkten Partialtöne hervorhebt, so legt er doch lange nicht das Gewicht auf diese Thatsache, wie es Pipping thut und auf Grund seiner analytischen Methode thun muss. Dem relativen Moment erkennt dieser aber insofern eine grosse Bedeutung zu, als nach ihm die charakteristischen Resonanztöne der Vocale von mehr oder weniger Obertönen, die in einem bestimmten relativen Stärkeverhältniss zu einander stehen, begleitet werden (s. oben Satz 3).

Neben dem Sprachzeichner Hensen's ist es der Phonograph, der zur graphischen Methode verwendet wurde.

Die unbefriedigenden Resultate früherer Forscher übergehe ich und wende mich gleich zu dem Vollkommensten und Schönsten, was in dieser Beziehung überhaupt geleistet worden ist, zu den „phonophotographischen Untersuchungen"[3]) Hermann's.

Es gelang nämlich Hermann, die durch Ansingen erzeugten Membranschwingungen eines nach seinen Angaben ausgezeichnet arbeitenden Edison'schen Phonographen durch das treue Bild der

---

1) Ztschr. f. Biologie Bd. 27, N. F. 9, S. 77.

2) Helmholtz, „Tonempfindungen", 4. Ausg. 1877, S. 181—189.

3) Pflüger's Archiv Bd. 45, S. 582, Bd. 47, S. 42, 44 u. 347, Bd. 53, S. 1 und Bd. 58, S. 264. Siehe ausserdem Pflüger's Archiv Bd. 48 S. 543, Bd. 49, S. 499 und Bd. 56, S. 467.

Photographie zur Anschauung zu bringen. Zu gleicher Zeit besitzt der Phonograph eine unbezahlbare Eigenschaft, indem er gestattet, sich immer durch Reproduction der Membranschwingungen von ihren akustischen Wirkungen zu überzeugen. Eine Beschreibung der sinnreichen Methode Hermann's halte ich für überflüssig, da ich auf die eigenen Schilderungen Hermann's [1]) verweisen kann. Ich versuche nur einen kurzen Ueberblick über seine Ansichten zu geben.

Auch Hermann kommt auf Grund der Analyse seiner Curven zu der Ueberzeugung, dass für die meisten Vocale ein charakteristischer Ton von bestimmter Höhe, für *U*, *E*, *Ae* dagegen zwei solcher Töne bestehen. Eine geringe Aenderung dieser charakteristischen Töne verändert die verschiedenen Vocale mehr oder weniger stark. Er stimmt also mit Pipping u. A. der Hauptsache nach, d. h. in der Annahme gewisser charakteristischer Töne von stets nahezu derselben Höhe überein. Aber während Helmholtz und Pipping die charakteristischen Töne als durch die Mundhöhle oder überhaupt das Ansatzrohr resonatorisch verstärkte Obertöne betrachten, vertritt Hermann auf Grund der Beschaffenheit und Analyse seiner Curven, die er gewissermaassen unmittelbar ohne Anwendung des Fourier'schen Satzes vornimmt (der übrigens nur zu harmonischen Theiltönen führen kann), die Anschauung, dass der charakteristische Ton, oder, wie er ihn sehr zweckmässig nennt, der „Formant" des Vocals gar nicht harmonisch zum Grundton zu sein brauche, ja im Gegentheil häufig ein unharmonischer sei. Dieser Formant oder Mundton besteht nach ihm vollkommen unabhängig vom Grundton und wird dadurch erzeugt, dass der dem tönenden Kehlkopf entströmende Luftstrom die für den betreffenden Vocal eingestellte Mundhöhle wie einen Resonator oder eine Pfeife anbläst. Hierbei tönt der Mundton allerdings nicht gleichmässig fort, sondern schwankt entsprechend den periodischen Stössen, mit welchen die Luft aus dem Kehlkopf entweicht, mit diesen auf und nieder, ja kann sogar auf kurze Zeiten (vielleicht während des Schlusses der Stimmbänder) vollkommen verschwinden, dann wieder auftreten, wieder verschwinden u. s. f. Mit einem Wort der Mundton oscillirt oder intermittirt in der Periode des Stimmtons.

---

1) Siehe Note 3 der vorhergehenden Seite.

In seiner Ansicht wird er noch dadurch bekräftigt, dass er in den Vocalcurven den Charakter von Schwebungscurven erkennt und dass es ihm in der That gelingt, Vocalklänge herzustellen durch Schwebung zweier Töne von den Schwingungszahlen $p + \frac{n}{2}$ und $p - \frac{n}{2}$, deren Differenz die Tonhöhe des entstehenden Differenztones n, deren arithmetisches Mittel den Formanten p des zu bildenden Vocals ergiebt. Kurz gesagt, existirt also für Hermann nur ein absolutes, ganz unabhängig dastehendes Moment als allein maassgebend für den Vocalklang; ein relatives Moment giebt es nach seiner Ansicht nicht, was ihm auch sein Versuch am Phonographen lehrt, bei welchem die bei einer bestimmten Rotationsgeschwindigkeit aufgesungenen Vocale sowohl bei gesteigerter als bei verlangsamter Rotationsgeschwindigkeit ihre charakteristischen Klänge einbüssen.

Gegen die Auffassung Hermann's wendet Pipping[1]) ein, dass es, wie Hensen gezeigt hat, wohl leicht gelingt, einen Resonator vermittelst eines gleichmässigen, aber nicht vermittelst eines ungleichmässigen, z. B. tönenden Luftstromes anzublasen, dass also auch die einen Resonator darstellende Mundhöhle durch die aus dem tönenden Kehlkopf strömende Luft nicht angeblasen werden kann. Dem entgegen macht Hermann[2]) geltend, dass die Mundhöhle nach seiner Auffassung nicht continuirlich ertöne, sondern immer nur während ganz kurzer Zeitperioden angeblasen und in diesen zum Tönen gebracht werde[3]).

Des Weiteren führt Pipping im Anschluss an Auerbach[4])

1) Zeitschrift f. Biologie Bd. 28, S. 39 und Bd. 31, N. F. 13, S. 526, sowie Zeitschr. für franz. Spr. und Lit. Bd. 15, S. 157 und Acta societatis scientiarum Fennicae, Tom 20, Nr. 11.

2) Pflüger's Archiv Bd. 58, S. 274.

3) Ich möchte hier, ohne irgendwie Partei für oder gegen die Hensen'sche Ansicht zu nehmen, einen einfachen Versuch mittheilen, auf den mich Herr Professor Grützner aufmerksam gemacht hat. Derselbe zeigt, dass jedenfalls die Hensen'sche Auffassung nicht für alle Fälle passt. Es gelingt nämlich ausserordentlich leicht zu gleicher Zeit zu singen und mit dem Munde zu pfeifen. Der intermittirende oder remittirende, aus dem tönenden Kehlkopf kommende Luftstrom ist also im Stande den kleinen von den Lippen und der Zunge gebildeten Resonator dauernd anzublasen, wodurch eben neben dem Tönen im Kehlkopf ein gleichmässiger Pfeifton erzeugt wird. An einen Vocal erinnert allerdings diese Doppelmusik nicht.

4) Zeitschrift für franz. Sprache und Lit. Bd. 16, S. 150.

an, dass man eben von den unharmonischen Tönen Hermann's in den Vocalklängen thatsächlich nichts höre und dass doch über das, was man hört, nicht das Auge, welches vielleicht diese oder jene Zacken in den Klangcurven so und nicht anders deuten kann, sondern vor allen Dingen, ja streng genommen allein das Ohr, welches eben diese oder jene harmonischen Theiltöne, aber eben keinen unharmonischen Ton hören kann, zu entscheiden hat.

Eine weitere sich hier anschliessende Frage ist die folgende: Ist der Kehlkopfton — gleiche Höhe und Stärke der Vocale vorausgesetzt — bei allen Vocalen ganz der gleiche oder wird gewissermaassen schon in dem Kehlkopf der Vocal gebildet bezw. vorgebildet? Würde, wenn jemand *A* oder *U* sprechen wollte und man nur den Kehlkopfton allein hören könnte, dieser in beiden Fällen ganz gleich oder verschieden sein? Auerbach nimmt das letztere an. Zu beweisen dürfte es jedoch schwer sein, und ich muss es dahingestellt sein lassen, ob es richtig ist. Nur scheint mir folgender Versuch nicht dafür zu sprechen. Wenn ich bei geschlossenem Munde die einzelnen Vocale, gewissermaassen also im Kehlkopf allein, zu sprechen versuche, so erhalte ich bei jedem Vocal denselben brummenden Ton, während man doch meinen sollte, dass, wenn der Kehlkopfton von Haus aus bei jedem Vocal verschieden ist, man das auch bei geschlossenem Munde hören müsste. Freilich können vielleicht auch verschiedene Kehlkopftöne durch den Resonanzraum des geschlossenen Mundes gleichartig brummend gemacht werden.

Nun mag dem sein, wie ihm wolle, soviel steht jedenfalls nach den genannten Untersuchungen fest, dass zur Charakterisirung von Vocalklängen das sogenannte absolute Moment, d. h. ein für jeden Vocal stets in derselben absoluten Höhe vorhandener Theilton von der grössten Wichtigkeit ist, mag nun dieser Theilton, wie Helmholtz, Hensen, Pipping und Andere wollen, ein harmonischer, durch Resonanz verstärkter Oberton des Kehlkopfklanges, oder wie Hermann will, ein selbständiger, in der Mundhöhle erzeugter Ton sein, der nur in dem Rhythmus des Kehlkopftones auf und nieder schwankt, aber mit ihm in keinem irgend wie harmonischen Verhältniss zu stehen braucht.

Dieser charakteristische Ton oder Formant ist nun, wie Hermann meint, allein in dem Klange vorhanden, während er nach Pipping von mehreren ebenfalls starken Nachbartönen

in einer grösseren oder geringeren Breite begleitet wird. Ist dieses „Verstärkungsgebiet" breit, so setzt sich der Formant, einem flachen Berge vergleichbar, auf den Gesammtklang auf; ist dagegen das Verstärkungsgebiet schmal, so steigt der Formant gleich einem steilen Berge mit kleiner Basis aus dem Klange hervor.

Verschwiegen darf schliesslich nicht werden, dass wie schon oben angedeutet, nach Auerbach[1]) neben dem absoluten Moment das relative in der von ihm dargelegten Weise nach wie vor seine Bedeutung behält und dass nach Lloyd[2]) dasselbe sogar allein maassgebend ist, indem dieser in dem Intervall zwischen den Resonanztönen (der „radical ratio") das Hauptmerkmal der Vocale sieht, während er die absoluten Tonhöhen (die „fixed pitch") innerhalb weiter Grenzen als gleichgiltig betrachtet.

Bei der unstreitigen Wichtigkeit und dem allgemeinen Interesse, welches die Formanten für die Erzeugung der Vocalklänge haben, wird es vielleicht für manchen von meinen Lesern nicht unerwünscht sein, wenn ich in nachfolgender Tabelle die Ergebnisse der verschiedenen Forscher nach dieser Richtung hin übersichtlich zusammenzustelle und, um Missverständnisse zu vermeiden, die betreffenden Töne in Noten angebe.

Zu den Noten von Auerbach muss ich bemerken, dass die in Klammer befindlichen den durch Percussion der Mundhöhle[3]) erhaltenen Tonhöhen, die andern annähernd seinen charakteristischen reduzirten Tonhöhen, für die er l. c.[4]) die Schwingungszahlen angiebt, entsprechen. Die Zahlen rechts unter den Noten Pipping's entsprechen der Breite der Verstärkungsgebiete, indem 12 einer Octave = 12 halben Tonstufen entspricht. Die Tonhöhen Boeke's entnehme ich Hermann's Phonophotogr. Untersuch. II. S. 43.

---

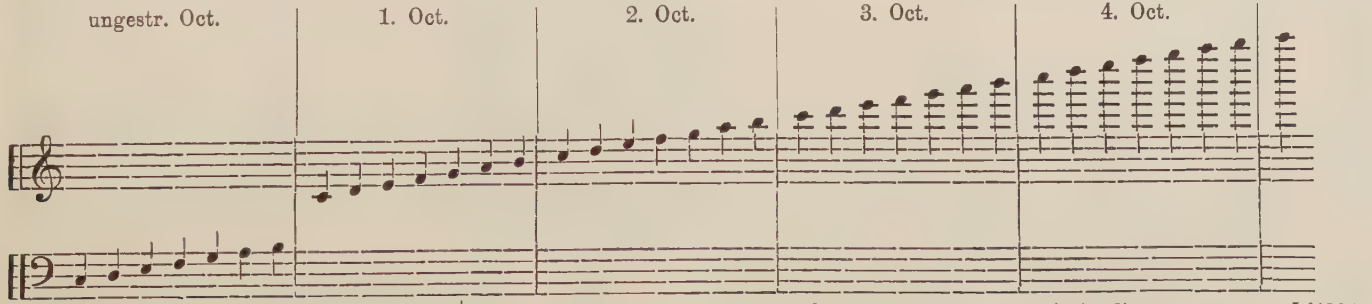
1) Zeitschr. für franz. Sprache und Lit. Bd. 16, S. 155.

2) R. J. Lloyd, Some Researches into the nature of Vowel-Sound, Liverpool 1890 und Speechsounds, their nature and causation. In Phonetische Studien 1890—1892, Bd. 3—5 (nicht abgeschlossen), sowie das eingehende Referat über Lloyd's Arbeiten von Pipping in Zeitschr. für franz. Spr. und Lit. Bd. 15, S. 157.

3) Wiedemann's Annalen der Physik u. Chemie N. F. Bd. 53. S. 157—160, 1878.

4) Wiedemann's Annalen der Physik u. Chemie Ergänz.-Bd. 8, S. 213, 1878.

	Reyher	Willis	Donders	Helmholtz	König	Auerbach	Pipping	Boeke	Hermann
A	breve e^1 medium c longum a	des^2—f^3	b^1	b^2	b^2	(f^2) g^2	$gis_6{}^2$ $cis_8{}^3$	c^3—cis^3	e^2—gis^2
A^0	f^1	g^2—es^2	—	—	—	c^2	$h_{18}{}^1$	—	e^2—f^2
O	g	c^2	d^1	b^1	b^1	(a^1) c^2	$g_{12}{}^1$	$\rangle c^2$	c^2—dis^2
E	a^1	d^4—c^5	cis^3	f^1 b^3	b^3	$(g^1$—$a^1)$ g^2	$f_{12}{}^1$ $fis_4{}^3$ $cis_1{}^4$	$\langle fis^4$	d^2—e^2 ais^3—h^3
J	c^2	g^5	f^3	fd^4	b^4	(f^1) c^3	$d_{12}{}^1$ $cis_3{}^4$ $fis_1{}^4$	$\rangle d^4$	e^4—f^4
U	e	—	f^1	f	b	(f^1) g^1	$d_{12}{}^1$—f^1 $d_5{}^3$	$\langle d^2$	c^1—f^1 d^2—e^2
Ä	g^1	—	—	d^2 g^3—as^3	—	g^2	$g_5{}^2$ $fis_{10}{}^3$	—	c^2—e^2 fis^3—ais^3
Ö	—	—	—	—	—	$(gis$—$a^1)$ g c^3	$f_{12}{}^1$ $g_5{}^3$	—	f^3—g^3
Ü	—	—	—	—	—	$(e^1$—$f^1)$ g^1 g^2	$d_{12}{}^1$ $c_1{}^4$	—	a^3—h^3



c (132) c^1 (264) c^2 (528) c^3 (1056) c^4 (2112) c^5 (4224)

$a^1 = 440$ Schwingungen.

II. Eigene Untersuchungen.

A. Entwickelung der Untersuchungsmethode.

Während man also bisher die Vocalklänge immer nur aus ihren Theiltönen zusammengesetzt (Helmholtz), bzw. aus der irgendwie dargestellten Klangcurve der Vocale (Hermann, Hensen, Pipping u. A.) die einzelnen Theiltöne ausgerechnet oder schliesslich auf rein subjectivem Wege die Stärke der einzelnen Partialtöne durch resonatorische Verstärkung derselben sich deutlich hörbar gemacht hatte (Auerbach), habe ich im Anschluss an Versuche, die Herr Prof. Grützner über das Wesen des Vocalklangs durch Auslöschen gewisser Componenten gemacht hat, eine Reihe von Versuchen im Tübinger physiologischen Institut im Sommer 1891 und im Winter 1895 nach dieser letzten Richtung hin angestellt.

Herr Prof. Grützner legte sich die Frage vor, was wird aus einem Vokal, wenn bestimmte Theiltöne aus ihm durch Interferenz abgeschwächt oder beseitigt werden?

Zur Geschichte dieser Interferenzmethode sei noch folgendes kurz mitgetheilt.

Herr Prof. Grützner machte an dem Originalapparat von Nörremberg[1]), über welchen das hiesige physiologische Institut verfügt, Interferenzversuche und stellte sich ausserdem einen einfacheren Interferenzapparat nach dem Nörremberg'schen Prinzip mit zwei verschieden langen Gummischläuchen her.

Das ja wohl als bekannt vorauszusetzende Prinzip dieses Apparats besteht darin, dass ein in eine Röhre geleiteter Ton durch zwei verschieden lange Wege, deren Differenz eine halbe Wellenlänge $\left(\frac{\lambda}{2}\right)$ des Tons beträgt, wieder in eine Röhre vereinigt wird. Wird der Ton durch beide Röhren oder Schläuche gesandt, so wird er durch Interferenz abgeschwächt, gelangt dagegen voll in das Ohr, wenn der eine von beiden Schläuchen zugehalten wird.

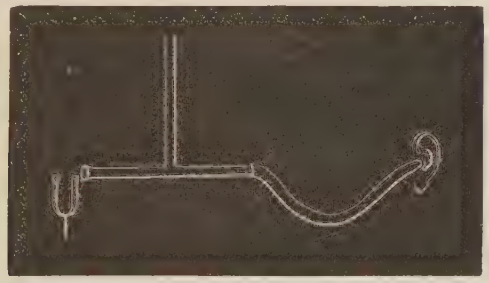
Als Herr Prof. Grützner diese Versuche anstellte, war er erstaunt, dass er häufig das entgegengesetzte Resultat konstatiren konnte, d. h. auch bei Verschluss eines Rohres eine starke Abschwächung des Tones wahrnahm.

---

1) J. Müller, Lehrbuch d. Physik, Braunschweig 1856, Bd. I, S. 382.

Diese Abschwächung kam, wie man sich bald überzeugte, dann zu Stande, wenn das abgeklemmte Ende von der dem Ohr nahe gelegenen Vereinigungsstelle beider Schläuche gerechnet, gerade ein Viertel von der Wellenlänge des Tons betrug. Der Ton wurde also durch Reflex abgeschwächt.

Auf Grund dieser Beobachtung konstruirte dann Herr Prof. Grützner den kleinen in schematischer Zeichnung in nachstehender Fig. 1 wiedergegebenen Interferenzapparat, eine T-förmige Glas- oder Messingröhre von 9—10 mm innerem Durchmesser. Der Querbalken des T führt auf der einen Seite durch einen Gummischlauch zum Ohr, auf der anderen ist er ein wenig trichterförmig erweitert, um den Ton etwa einer Stimmgabel besser aufzunehmen.



Figur 1.

Der mittlere Schenkel des T misst 19 cm, ist also gleich einem Viertel der Wellenlänge des gewöhnlichen Stimmgabel *A* (a^1). Bei offenem Seitenrohr klingt die angeschlagene Stimmgabel laut in's Ohr, bei (am einfachsten mit dem Finger) verschlossenem hört man entweder gar nichts oder die Octave des Stimmgabeltones, das Erstere, wenn die die Stimmgabel schwach, das Zweite, wenn sie laut tönt.

Nun gebührt aber Herrn Prof. Grützner nicht die Priorität der Erfindung dieses kleinen ausserordentlich einfachen einröhrigen Interferenzapparates, sondern ganz der gleiche Apparat wurde bereits von Quincke[1]) konstruirt und auf seine Leistungsfähigkeit geprüft. Weiterhin hat A. Seebeck[2]) sowie R. König[3])

---

1) Poggendorff's Annal. d. Physik u. Chemie, 5. Reihe Bd. 8, S. 177 bis 206, Tafel VI, Fig. 6.

2) Dr. A. Seebeck, Ueber Interferenz des Schalles in Röhren, Berlin 1872.

3) Quelques Expériences d'acoustique, Paris 1882, p. 76.

mit den Quincke'schen zweiröhrigen Interferenzapparaten eine Reihe in's Einzelne gehender Untersuchungen angestellt. Für unsere Zwecke ist es besonders wichtig sich daran zu erinnern, dass, wie auch Quincke hervorhebt, jeder derartige Interferenzapparat nicht bloss einen Ton von n Schwingungen, sondern auch die ungeradzahligen Obertöne von $3n$, $5n$, $7n$, u. s. w. Schwingungen auslöscht, bezw. abschwächt. Von der Richtigkeit dieser Thatsache habe ich mich übrigens durch den unmittelbaren Versuch überzeugt, wie nachfolgendes Beispiel zeigt.

An einem Messingrohr von 10 mm innerem Durchmesser befand sich wie in Fig. 1 ein seitliches gleich weites Ansatzrohr, dessen Länge durch einen hineingesteckten Stempel verändert werden konnte. Wurde nun die Länge dieses Seitenrohres gleich gemacht 65 cm $= \left(\frac{\lambda}{4}\right)$ des Tones c mit 130,8 Schwingungen, so wurde nicht bloss der Grundton, mit der Orgelpfeife c geblasen, stark abgeschächt, sondern es wurde auch der Pfeifenton g^1 mit 3 mal so viel Schwingungen wie c fast vollständig vernichtet; man hörte nur ein Rauschen.

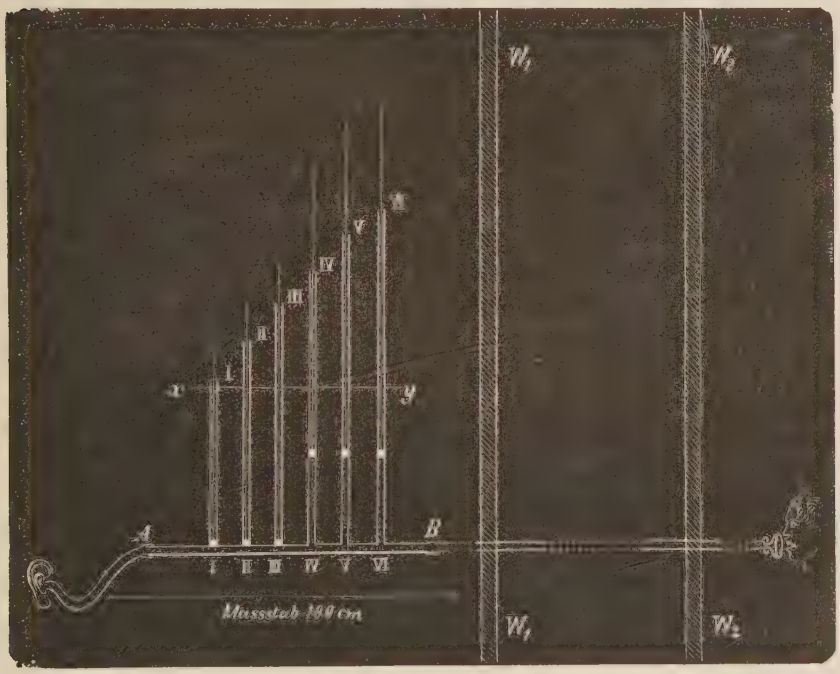
Wie schon die früheren Forscher (Quincke, Seebeck) angegeben haben, werden durch die genannten Interferenzapparate einfache Töne nicht vollständig ausgelöscht, sondern nur mehr oder weniger abgeschwächt, weil durch die gerade (beziehungsweise kürzere) Leitung der Ton nahezu in seiner vollen Stärke in unser Ohr gelangt, während der um eine halbe Wellenlänge verzögerte Ton natürlich durch die grössere Weglänge (und bei meinen Apparaten auch noch durch den Reflex) in seiner Stärke abgeschwächt wird. Es interferirt also immer ein stärkerer mit einem schwächeren Ton. Sie können sich demnach nicht genau auf Null herabsetzen.

Nun kann man aber die Wirkung eines derartigen Interferenzapparates bedeutend steigern und die Töne vollständig auslöschen, wenn man die Interferenz nicht nur einmal, sondern mehreremal hintereinander zu Stande kommen lässt. Denn wäre, wie eine leichte Ueberlegung zeigt, durch die erste Interferenz der Ton auf $\frac{1}{n}$ seiner Intensität herabgesetzt worden, so würde, alles übrige gleich gesetzt, eine nochmalige zweite Interferenz diesen Ton von

der Intensität $\frac{1}{n}$ wieder auf $\frac{1}{n}$ dieser Intensität, also auf $\frac{1}{n} \cdot \frac{1}{n} = \frac{1}{n^2}$ herabsetzen und bei einer dritten Interferenz würde die Herabsetzung des Tones bereits $\frac{1}{n^3}$ betragen.

Herr Prof. Grützner stellte mir einen derartigen Interferenzapparat mit 6 seitlichen Ansatzröhren zur Verfügung, mit welchem ich mich durch unmittelbare, eigens nach dieser Richtung hin angestellte Versuche überzeugte, dass wirklich eine mehrfache Interferenz die entsprechenden Töne vollständig auslöscht.

Eine erste Bedingung aller dieser Interferenzversuche ist, dass der Hörende durchaus nur das hört, was durch den Interferenz-



Figur 2.

apparat in sein Ohr gelangt und dass er nicht etwa mit dem anderen Ohr durch die Luft oder durch die Leitung der Kopfknochen die ihm nicht durch den Interferenzapparat zugeführten Töne wahrnimmt. Dem zufolge muss die Tonquelle ausreichend weit von dem Hörenden entfernt und durch dichte Wände abgeschlossen sein.

Der Interferenzapparat[1]) mit dem Hörrohr (s. Fig. 2) befindet sich demnach in dem einen Zimmer in bequemer Höhe auf einem Tisch mit verschiebbarer Platte. Das Leitrohr AB setzt sich in der Länge von etwa 11 m durch die 2 Wände $W_1 W_1$ und $W_2 W_2$ eines zweiten Zimmers in ein drittes Zimmer fort, in welchem $2^1/_2$ m von der Wand entfernt eine trichterförmige Erweiterung der Leitung den Ton aufnimmt. Die ganze Leitung besteht aus drei innen ganz glatten Messingröhren von etwas über 3 m Länge und 10 mm innerer Weite, die durch kurze feste Kautschukstückchen mit einander verbunden und ausserdem durch zweckmässige Stützen in horizontaler Lage gehalten werden. Die Löcher in den Wänden $W_1 W_1$ und $W_2 W_2$ sind dicht mit Watte verstopft. Alle aus dem Zimmer führenden Thüren sind natürlich fest verschlossen, beziehungsweise noch durch Teppiche verhängt.

So gelingt es, dass wenn man sich das freie Ohr mit dem Finger zuhält oder sonstwie dicht verstopft, auch laut gerufene Klänge, nur durch das mit der Leitung verbundene Ohr, aber nicht auf anderem Wege gehört werden.

Der Interferenzapparat selbst besteht aus einem Leitrohr AB von 90 cm Länge und 10 mm innerer Weite. Dasselbe trägt am Ende A einen dickwandigen Gummischlauch von 67 cm Länge mit einem olivenförmigen Ansatz, der ins Ohr gesteckt wird.

Das andere gegenüberliegende Ende B ist, wie schon erwähnt, mit der langen Röhrenleitung durch ein kurzes, fest anliegendes Kautschukstückchen verbunden. Alle Knickungen sind sorgfältig vermieden. Die seitlichen Ansatzröhren I I, II II ... VI VI an der Röhre AB sind Messingröhren von derselben Weite wie die Röhre AB. Sie sind von I I bis VI VI beziehungsweise 50, 60, 70, 80, 90, 100 cm lang und in einem Abstand von je 10 cm rechtwinklig auf das Rohr AB aufgesetzt. Die erste und die letzte Röhre ist je 20 cm von A beziehungsweise B entfernt. In den genau ausgeschliffenenen Seitenröhren bewegen sich gut schliessende Stempel mit hölzernen Führungsstielen, welche in Centimeter eingetheilt sind. Die Zahl 0 bezeichnet, dass der Stempel gerade bis an die ihm nächstgelegene Wand der Röhre AB heranreicht und diese selbst vollkommen freilässt. Die anderen Zahlen geben dann die Länge der Ansatzröhren ohne weiteres an.

1) Der Interferenzapparat war von Herrn Universitätsmechaniker E. Albrecht hierselbst gefertigt.

Gleich die ersten Versuche, die ich mit diesem Apparate in der Hoffnung einer wiederholten und ausgiebigeren Interferenz anstellte, fielen so aus, dass ich sie mit Herrn Prof. Grützner und allen denen, welchen ich sie gelegentlich zeigte, als überraschend — nebenbei bemerkt —, vielfach geradezu als belustigend und jedenfalls als ungemein lehrreich bezeichnen kann; denn es wird beispielsweise, wenn mit den drei ersten Röhren des Apparates VI, V, IV der Grundton (und dessen ungeradzahlige Obertöne) oder gar noch dazu mit den folgenden drei Röhren III, II, I dessen Octave (und ihre ungeradzahligen Obertöne) ausgelöscht werden, eine in den Apparat hineinsingende oder noch besser in der Höhe des Grundtons sprechende Bassstimme in ein unkenntliches feines Pfeifen, der hohen Stimme eines kleinen Kindes vergleichbar, verwandelt und dabei nur ein Theil der Worte verstanden.

B. Untersuchung der Vocal-Klänge.

1. Auslöschung des Grundtons.

Zu den Untersuchungen waren stets zwei oder besser drei Personen nothwendig. In das eine Ende der Leitung wurden die Vocale in bestimmter Höhe und beliebiger dem Hörer nicht bekannter Reihenfolge gesungen bezw. gesprochen und das Gesprochene wie das Gehörte beiderseits sofort notirt, letzteres entweder von dem Hörer selbst, oder was bequemer und sicherer, von einer dritten Person. Jeder neue Vocal wurde durch Klopfen an der Leitung dem Hörer bemerkbar gemacht. Dann wurden die gesungenen Vocalklänge mit den gehörten Klängen verglichen, wobei natürlich irgend welche ungenaue Notirungen oder fehlerhafte Auffassungen festgestellt und beseitigt werden konnten.

Ehe ich nun die Resultate mit dem eben beschriebenen Apparate mittheile, will ich vorher noch einmal auf die Ergebnisse der Untersuchungen, welche Herr Prof. Grützner im Sommer 1891 in Gemeinschaft mit mir mit einem einröhrigen Interferenzapparat angestellt hatte, zurückkommen. Bezüglich der Versuchsanordnung ist dabei zu bemerken, dass die Röhrenleitung nur durch eine Wand in das nächste Zimmer führte, statt $11^1/_2$ nur 3 m im Ganzen lang war.

Es wurde damals in folgender Weise vorgegangen:

Zuerst wurden die Notentöne *c*, *e*, *g*, c^1, auf welche die Vocale *a*, *o* und *u* gesungen wurden, zur Interferenz gebracht, und die Veränderung der Vocalklänge vom Hörer im anderen Zimmer bestimmt; zweitens wurden die charakteristischen Tonhöhen nach König (für $A\ b^2$, $O\ b^1$, $U\ b$) zur Interferenz gebracht und dann die Veränderung der Klänge konstatirt. Zu bemerken ist, dass vor jedem Versuch die richtige Einstellung des Apparates durch den entsprechenden Pfeifen- oder Stimmgabelton kontrolirt wurde. Statt des Interferenzapparats, der, wie oben bemerkt, auch die ungeradzahligen Obertöne abschwächt, wurden dann auf einer eigens dazu konstruirten durchlöcherten Messingröhre auch die den Stimmgabeltönen nach König für *A*, *O*, *U* entsprechenden Resonatoren aufgesetzt und deren nur einen einzigen Ton abschwächende Wirkung auf die Vocalklänge festgestellt[1]).

Die damals erhaltenen Resultate hat Herr Prof. Grützner schon auf der Naturforscherversammlung zu Halle a. S. kurz mitgetheilt. In dem betreffenden Bericht[2]) heisst es: „Löscht man bei den Vocalen *A*, *O* und *U* den charakteristischen Ton aus (bezw. schwächt man ihn ab), so verwandelt sich in bestimmten Tonhöhen *A* in *O*, *O* in *U* und *U* in ein brummendes *M*. Bringt man dagegen den Ton, auf welchen der betreffende Vocal gesungen wird, zur Interferenz, so ändert sich die Vocalfarbe wenig, der Vocal wird nur schwächer und klingt wie aus der Ferne gesprochen“[3]).

---

1) Spätere Versuche mit seitlich auf die Röhre aufgesetzten Resonatoren gaben mir keine so befriedigenden Resultate. Ich liess sie desshalb, da meine Zeit knapp war, bei Seite liegen und hoffe nächstens auf diese Versuche wieder zurückzukommen.

2) Verhandlungen der Gesellschaft deutscher Naturforscher u. Aerzte. 64. Versammlung, Halle 1892, S. 147.

3) Betreffs dieser Thatsache möchte ich mir eine Bemerkung erlauben. In den „Tonempfindungen“ von Helmholtz 1870, S. 164 findet sich die Bemerkung, dass man aus zusammengesetzten Klängen die Obertöne oft unmittelbar heraushören kann, namentlich wenn man die Klänge aus der Ferne hört. So erwähnt Seiler in Leipzig, „dass er in schlaflosen Nächten, auf den Gesang des Nachtwächters lauschend, zuweilen anfangs aus der Ferne die Duodecime des Gesanges gehört habe, und später erst den Grundton.“ Offenbar haben wir hier eine ganz ähnliche Erscheinung vor uns. Durch

Diesem habe ich nur beizufügen, dass damals auch schon konstatirt wurde, dass sich das *U* bei Abschwächung des Notentones etwas nach *O* verfärbt, ausserdem bei Abschwächung des charakteristischen Tons nach König in den höheren Lagen nach *A* verändert.

Der Gang der Untersuchungen mit dem neuen Apparat ist im allgemeinen oben schon geschildert; ich wiederhole nur noch, dass die Vocale *A*, *E*, *I*, *O*, *U*, *Ä*, *Ö*, *Ü* in einer dem Hörer nicht bekannten Reihenfolge gesungen wurden und von mir nur der Uebersichtlichkeit halber in dieser Reihenfolge aufgezählt werden.

Ausserdem betone ich noch einmal, dass, wenn ich kurzweg sage, der Grundton n (d. h. von n Schwingungen) ist ausgelöscht, damit auch seine ungeradzahligen Obertöne $3n$, $5n$ u. s. w. vernichtet sind. Die Tonhöhen, in denen gesungen wird, sind c, e, g, c^1, c^1, g^1, c^2, e^2, g^2 ($c—c^1$ Männerstimmen von L. K. und O. St., $c^1—c^2$ weibliche Altstimme von S. G., $c^2—g^2$ Knabenstimme von A. M.).

Wenn der Grundton $n+3n$ u. s. w. allein ausgelöscht ist, so sind drei Röhren (VI, V, IV) auf $\frac{\lambda}{4}$ desselben ausgezogen; wenn der Grundton $n+3n+5n$ etc. und seine Octave $2n+6n+10n$ etc. ausgelöscht wird, so sind die drei längeren Röhren (VI, V, IV) auf $\frac{\lambda}{4}$ des Tones n, die drei kürzeren auf $\frac{\lambda}{4}$ des Tones $2n$,

---

Abschwächung des Grundtons klingt uns die Stimme des Sprechenden wie aus weiter Ferne, ja wenn man durch einen passenden Schieber das seitliche Interferenzrohr wechselsweise öffnet und schliesst, so wird diese Täuschung noch zwingender. Bald scheint uns der Sprecher unmittelbar in unser Ohr zu rufen, bald rückt er in weite Ferne hinaus. Es war mir interessant zu erfahren — worauf ich eben erst aufmerksam werde — dass auch Mach (Poggendorff's Annalen Bd. 126, S. 331 1865,) auf diese merkwürdige Erscheinung hinweist und die Veränderung von Klängen durch die Entfernung ungemein treffend mit der Veränderung von Farben durch die Entfernung, mit der sogenannten Luftperspective vergleicht.

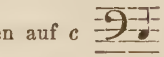
Die Kunst des Bauchredners, über welche in letzter Zeit viel theoretisirt worden ist, besteht, wie ich bereits früher ausgeführt habe, im Wesentlichen darin, dass er auf irgend eine Weise diese aus der Ferne klingende Stimme nachahmt und durch mimisches Talent die Täuschung vervollkommnet. Wie er das thut, ist ziemlich gleichgültig. Grützner.

d. h. auf die Hälfte ausgezogen. Ist nur auf den Grundton eingestellt, so hört der Hörer keine Spur des Grundtones, sondern alles in der Octave ($2n$), ist dagegen auf Grundton und Octave eingestellt, alles in der zweiten Octave ($4n$). Denn wird der Grundton $n+3n+5n$ u. s. w. und seine Octave $2n+6n+10n+14n$ u. s. w. ausgelöscht, so bleiben nur die Töne $4n+8n+12n$ u. s. w. übrig.

Die Tabellen, welche die Auslöschung des Grundtons allein, sowie diejenigen, welche die Auslöschung des Grundtons mitsammt seiner Octave in ihren beiderseitigen Wirkungen darstellen, werden dann nebeneinander aufgeführt, wenn der Hörer in beiden Fällen dieselben Töne hört. So steht z. B. die Tabelle IIb neben Tabelle VIa, weil hier beidemal der Ton e^2 gehört wird.

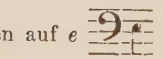
Die Richtigkeit der Einstellung wird jedesmal vorher mit dem entsprechenden Pfeifen- oder Violinenton kontrolirt.

Tabelle Ia.

Vocale gesungen auf c  $n=130{,}8\frac{\lambda}{4}=65{,}3$ cm, Grundton etc. ausgelöscht

Gesungen von L. K. (Baryton)	Gehört von E. S. in c^1
A	deutlich *A*
E	*E* nach *I*
I	deutlich *I*, etwas leiser als vorher
O	deutlich *O*
U	Wie eine Trompete, ohne eigentlichen Vocalcharakter
Ä	*Ö—Ä*
Ö	nasal nach *Ü*
Ü	*I*

Tabelle IIa.

Vocale gesungen auf e  $n=164{,}8\frac{\lambda}{4}=51{,}8$ cm Grundton etc. ausgelöscht.

Gesungen von L. K.	Gehört von E. S. in e^1
A	deutlich *A*
E	*I* artig
I	reineres *I*, etwas leiser als vorher
O	nasal *ong*
U	ähnlich wie bei *O*
Ä	nasal *E*
Ö	*I* nach *U*
Ü	leiseres *I*

Tabelle IIIa.

Vocale gesungen auf g $n=196\frac{\lambda}{4}=43{,}5$ cm, Grundton etc. ausgelöscht.

Gesungen von L. K.	Gehört von E. S. in g^1
A	deutlich *A*
E	*E* oder *I*
I	*E* oder *I* leiser als bei *E*
O	*U* oder *O*
U	*O* oder *U*
Ä	*E* nach *O*
Ö	*Ü*
Ü	leises *I*

Tabelle IVa und Va.

Vocale gesungen auf c^1

$n=261{,}7\frac{\lambda}{4}=32{,}6$ cm, Grundton etc. ausgelöscht.

Gesungen v. L. K. u. S. G.	Gehört von E. S. in c^2	
	1) bei L. K.	2) bei S. G.
A	deutlich *A*	vielleicht *A*
E	nach *I*	*I* oder *E*
I	leises pfeifendes *I*	leise *Ä* artig
O	nach *U*	*O* oder *U*
U	unbestimmt kein Vocal	*A* artig
Ä	wie *E*	*E*
Ö	*Ü*	unbestimmt, *I*-ähnlich
Ü	leiser *Ü*	ebenso, noch mehr *I*-ähnl.

Tabelle Ib.

Vocale gesungen auf c, Grundton + 1. Oct. etc. ausgelöscht $\frac{\lambda}{4}$ = 65,3, und 32,6 cm.

Gesungen von L. K.	Gehört von E. S. in c^2
A	etwas nasales *A*
E	*I*-artig
I	sehr schwaches *I*-artiges Pfeifen
O	unbestimmt
U	ebenso, kein Vocal
Ä	*E*-artig nach *U*
Ö	*I* oder *U* mit Geräusch
Ü	*I* oder *U*

Tabelle VIa.

Vocale gesungen auf e^1

$n = 329{,}7\frac{\lambda}{4} = 25{,}9$ cm, Grundton etc. ausgelöscht.

Gesungen von S. G.	Gehört von E. S. in e^2
A	*O* oder *A*
E	*E* oder *I*
I	*I* oder *E*
O	*U*
U	vielleicht *A*
Ä	*E* oder *I*
Ö	*I*-ähnlich
Ü	noch mehr *I*-ähnlich

Tabelle IIb.

Vocale gesungen auf *e*, Grundton + 1. Oct. etc. ausgelöscht $\frac{\lambda}{4}$ = 51,8 und 25,9 cm.

Gesungen von L. K.	Gehört von E. S. in e^2
A	Pfiff *O* ähnlich
E	leiser Pfiff, *I*-ähnlich
I	noch leiser, *I*-ähnlich
O	wie bei *A*
U	ganz leises Pfeifen
Ä	*E* oder *U*-ähnlich
Ö	Pfeifen mit Anklang nach *O*
Ü	vielleicht *Ü*

Tabelle VIIa.

Vocale gesungen auf g^1

$n = 392\frac{\lambda}{4} = 21{,}8$ cm, Grundton etc. ausgelöscht

Gesungen von S. G.	Gehört von E. S. in g^2
A	*A* oder *O*
E	*I* oder *E*
I	leises *I*
O	*U* oder *O*
U	unbestimmt, im Abklang *A*
Ä	Pfeifen, *U*-ähnlich
Ö	Pfeifen, *E*-ähnlich
Ü	Pfeifen, *I*-ähnlich

Tabelle IIIb.

Vocale gesungen auf *g*, Grundton + 1 Oct. etc. ausgelöscht $\frac{\lambda}{4}$ = 43,5 und 21,8 cm.

Gesungen von L. K.	Gehört von E. S. in g^2
A	sehr heller lauter Pfiff
E	etwas leiser, *I*-ähnlich
I	noch leiser, klingt n. *I*
O	wieder lauterer Pfiff, so wie bei *A*
U	wieder leiseres Pfeifen ohne Vocalklang
Ä	ebenso nur Pfiff
Ö	*I*-artiger Pfiff mit Geräusch
Ü	*Ü*-artiges Pfeifen

Tabelle VIIIa und IXa.

Vocale gesungen auf c^2

$n = 523{,}3\frac{\lambda}{4} = 16{,}3$ cm, Grundton etc. ausgelöscht.

Gesungen von S. G. und A. M.	Gehört von E. S. in c^3	
	1) bei S. G.	2) bei A. M.
A	unbestimmt *A*	hohes Pfeifen
E	unbestimmt	ebenso
I	unbestimmt, vielleicht *I*	ebenso, aber leiser
O	wie bei *A*	ebenso, aber lauter
U	ebenso nach *A* zu	ebenso, aber leiser mit Geräusch
Ä	rauschendes Pfeifen, *E* ähnlich	*E*-artig
Ö	hohes Pfeifen *U*- oder *E*-ähnlich	*I*-artig
Ü	rauschendes Pfeifen, *E*-ähnlich	ebenso

Tabelle IVb und Vb.

Vocale gesungen auf c^1, Grundton + 1. Oct. etc. ausgelöscht $\frac{\lambda}{4}$ = 32,6 und 16,3 cm.

Gesungen von L. K. und S. G.	Gehört von E. S. in c^3	
	1) bei S. G.	2) bei L. K.
A	Pfiff *A*-ähnlich	Pfiff *A*-ähnlich
E	leiserer Pfiff	leiser unbest.
I	noch leiser, *I*-artig	ganz fein, leise nach *I*
O	unbestimmt rauschend, wieder lauter	wie bei *A*
U	leiser, mit Geräusch	leise hauch., wie eine Pfeife, die nicht anspr.
Ä	hohes Pfeifen *E*-ähnlich	unbestimmt *E*-artig
Ö	ebenso, *U*-ähnlich	ebenso
Ü	leiseres Pfeifen, *I*-ähnlich	ebenso

Tabelle Va.

Vocale gesungen auf e^2

$n = 659{,}3\frac{\lambda}{4} = 12{,}9$ cm Grundton, etc. ausgelöscht.

Gesungen von A. M.	Gehört von E. S. in e^3	
A	hohes Pfeifen, vielleicht *A*	
E	hohes Pfeifen	
I	leiseres Pfeifen	
O	wieder lauter	
U	wieder leiseres weicheres Pfeifen	
Ä	*A*-artiges	Pfeifen
Ö	*U* „	Pfeifen
Ü	*I* „	Pfeifen

Tabelle VIb.

Vocale gesungen auf e^1, Grundton + 1. Oct. etc. ausgelöscht $\frac{\lambda}{4}$ = 25,9 und 12,9 cm.

Gesungen von S. G.	Gehört von E. S. in e^3
A	hohes Pfeifen
E	ebenso
I	leise grunzend, *I*-artig
O	unbestimmtes, wieder lauteres Pfeifen
U	leises Rauschen
Ä	hohes Pfeifen, *A*-ähnlich
Ö	leiseres Pfeifen, *I*-ähnlich
Ü	rauschendes Pfeifen, noch mehr *I*-ähnlich

Tabelle XIa.

Vocale gesungen auf g^2

$n=784\frac{\lambda}{4}=10{,}9$ cm, Grundton etc. ausgelöscht.

Gesungen von A. M.	Gehört von E. S. in g^3
A	Pfiff
E	ebenso
I	leiserer Pfiff
O	wieder lauter
U	wieder leiserer, rauher Pfiff
Ä	*A* abwechselnd mit Geräusch
Ö	unbestimmtes Pfeifen
Ü	ebenso

Tabelle VIIb.

Vocale gesungen auf g^1 Grundton + 1. Oct. etc. ausgelöscht $\frac{\lambda}{4}$ = 21,8 und 10,9 cm.

Gesungen von S. G.	Gehört von E. S. in g^3
A	hohes Pfeifen
E	ebenso
I	ebenso, etwas leiser
O	wie bei *A*
U	ganz unbestimmt, kaum ein Ton z. hören
Ä	hohes Pfeifen
Ö	etwas schärferes Pfeifen
Ü	etwas leiseres Pfeifen, *I*-ähnlich

Tabelle VIIIb.

Vocale gesungen auf c^2 Grundton + 1. Oct. ausgelöscht $\frac{\lambda}{4}$ = 16,3 und 8,1 cm.

Gesungen von S. G.	Gehört von E. S. in c^4
A	ganz hohes feines Pfeifen
E	ebenso
I	ganz leise, fast nichts zu hören
O	Pfeifen wie bei *A*
U	leises Rauschen
A	unbestimmtes hohes Pfeifen
Ö	ebenso
Ü	ebenso, aber leiser

Von der Knabenstimme des A. M. werden die Vocale ebenfalls auf c^2, e^2, g^2, während Grundton und erste Octave desselben mit je ihren ungeradzahligen Theiltönen ausgelöscht sind, gesungen. Die Tabellen dazu geben nichts Charakteristisches mehr bezüglich des Vocalklangs, indem stets nur ein feines Pfeifen in der 4. Octave zu hören war. Nur die Tonstärke wechselte, wie schon bei den eben gegebenen Tabellen auffällt. Das an und für sich

schon feine Pfeifen erklang am deutlichsten, wenn *A* oder *O*, schwächer wenn *E*, noch schwächer wenn *U*, und am schwächsten, wenn *I* gesungen wurde.

Ausserdem muss ich zu diesen meinen Versuchen bemerken, dass Herr Prof. Grützner die Güte hatte, die meisten derselben selbst nachzuprüfen, wobei er im grossen Ganzen durchaus dieselben Resultate konstatiren konnte, ebenso meine Freunde, die Studirenden L. Kleinknecht und O. Stahl, und verschiedene andere, gerade im Institute beschäftigte Personen.

Ich gebe deshalb noch einige Tabellen, die von anderen Hörern als mir festgestellt wurden, allerdings nur für die Vocale *A*, *E*, *I*, *O*, *U*, wie sie von mir in einer dem Hörer nicht bekannten Reihenfolge gesungen wurden.

Vocale gesungen auf c^1 (n u. $\frac{\lambda}{4}$ s. o.), Grundton etc. ausgelöscht.

Gesungen von E. S.	Gehört von P. G. in c^2
A	*A*
E	zwischen *E* und *I*
I	schwach zwischen *E* und *I*
O	zwischen *O*, *U* und *A*
U	ebenso mit Geräusch

Vocale gesungen auf c^1, Grundton + 1. Oct. etc. ausgelöscht.

Gesungen von E. S.	Gehört von P. G. in c^3
A	hohes Pfeifen
E	hohes Pfeifen, ohne jeden Vocalklang
I	schwaches Pfeifen, vielleicht *I*
O	hohes Pfeifen mit tieferem Geräusch
U	lautes Geräusch, schwacher Ton, kein Vocal

Vocale gesungen auf c^1, Grundton + 1. Oct. etc. ausgelöscht.

Gesungen von E. S.	Gehört von P. Gm. in c^3
A	hohes Pfeifen
E	hohes Pfeifen, kein Vocal
I	leises *I*
O	gellendes Pfeifen
U	schwaches Summen

Vokale gesungen auf g, Grundton + 1. Oct. ausgelöscht.

Gesungen von E. S.	Gehört von Dr. B. in g^2
A	zwischen *O* und *E*
E	*O* oder *U* oder *I*
I	feineres *I*
O	klangvolles *A*
U	*A*-artig mit Geräuch

Zu dieser Tabelle muss ich bemerken, dass Herr Dr. B. wusste, dass Vocale gesungen wurden, was Herr P. Gm. nicht wusste.

Aus diesen Untersuchungen geht hervor, dass wir im Stande sind, durch Auslöschung einer Reihe harmonischer Theiltöne aus einem Vocalklang diesen allmählich zu vernichten, wobei sich im Einzelnen Folgendes ergiebt.

1) Je höher wir im Singen der Vocale steigen, um so mehr wird durch Wegnahme des Grundtones und seiner ungeradzahligen Obertöne die Erkenntlichkeit der Vocale beeinträchtigt. Ueberhaupt leidet (wenn auch natürlich in viel geringerem Grade) auch ohne jede Interferenz durch die blosse Röhrenleitung ein Vocalklang in der Regel um so mehr, je höher er gesungen wird.

2) Die Wegnahme des Grundtones und der ungeradzahligen Theiltöne schädigt die verschiedenen Vocale nicht in gleicher Weise. Am wenigsten beeinträchtigt wird das *A*, am meisten das *U*, die übrigen Vocale stehen in der Mitte.

In den verschiedensten Tonhöhen behält hierbei das *A* am deutlichsten seine charakteristische Klangfarbe, wie es ja auch bekanntlich sonst am leichtesten und deutlichsten von allen Vocalen in den verschiedensten Höhen gesungen werden kann. Das Singen einer Melodie oder von Tonleitern auf la, la, la ist hierfür der beste Beweis.

Das *U* hingegen wird in seiner Kenntlichkeit schon stark beeinträchtigt, wenn es auf *c* gesungen und dieses *c* ausgelöscht wird. In höheren Lagen wandelt es sich durch ein unbestimmtes *O* in ein *A* oder *A*artigen Klang um und geht schliesslich ganz verloren.

In der Mitte zwischen *A* und *U* stehen *O*, *E* und *I* und deren Umlaute *Ö*, *Ä* und *Ü*, die sich, in den verschiedenen Höhen gesungen, durchweg, meistens aber nicht so auffällig, verändern und erst in den höheren Lagen ihre charakteristische Färbung ganz verlieren. In den mittleren Lagen nähern sich die Umlaute oft den reinen Vocalen.

3) Die Wegnahme des Grundtones und seiner ungeradzahligen Theiltöne mitsammt seiner Octave und deren ungeradzahligen Theiltönen verwandelt alle Vocale in allen Tonlagen in einfache Pfiffe. Nur das *I* und das *Ü* scheinen mitunter etwas von ihrem Charakter zu behalten.

4) Bei dieser doppelten Auslöschung unterscheiden sich die Vocale untereinander nur durch die Stärke der gehörten Töne oder Pfiffe. Am lautesten tönt *A*, am leisesten *I*. Dazwischen

stehen *O*, *E* und die Umlaute, sowie das *U*, welches nur ein wenig lauter als das *I* klingt. Häufig mischt sich den Pfiffen, namentlich bei *I*, *Ü* und *U* ein eigenthümliches Hauchen oder Rauschen bei.

Indem ich betreffs der aus diesen Ergebnissen zu ziehenden Schlussfolgerungen auf das Spätere (s. S. 28) verweise, wende ich mich jetzt zu der zweiten Reihe meiner Versuche, nämlich zu der mit Ausöschung der Formanten.

2. Die Auslöschung der Formanten nach Hermann, bezw. der Resonanztöne nach Pipping.

Wie schon in den Versuchen vom Sommer 1891 (s. Seite 16) mit dem einfachen Interferenzapparat ausser dem Grundton auch die Formanten abgeschwächt wurden, so habe ich nun neuerdings mit dem zusammengesetzten Interferenzapparat die Wirkung einer vollständigen Auslöschung der Formanten auf die Vocalklänge untersucht. Hierbei wurde in der Weise vorgegangen, dass von einer Männerstimme (Baryton) ein und derselbe Vocal hintereinander etwa auf die Tonhöhen von *c*, *e*, *g*, c^1, e^1 gesungen und vom Hörer nach Ausschaltung der Formanten beobachtet wurde. In einigen Versuchen wusste der Hörer, was gesungen wurde, in anderen nicht. Mannigfache Wiederholungen stellten die Ergebnisse sicher Bei 2 Formanten wurden die ersten 3 Röhren (VI, V, IV) auf den tieferen, die nächsten 3 auf den höheren charakteristischen Ton eingestellt; bei 3 Formanten wurden in dem Falle, wo alle 3 zur Auslöschung gebracht werden sollten, wie es aus den folgenden Tabellen bei *E* und *I* Pipping's nothwendig wurde, je 2 Röhren auf einen Formanten verwandt.

Da die Formanten meist in der zweiten Octave und darüber liegen, so kommt für die Vocale wahrscheinlich der Einfluss der gleichzeitigen Auslöschung der ungeradzahligen Obertöne der Formanten kaum in Betracht.

Der auszulöschende Formant wurde jedesmal zuvor auf der Violine angegeben und seine Auslöschung durch den Apparat festgestellt. Derselbe genügte, wie ich nachträglich bemerke, auch was die Höhe der Töne anlangte, den weitgehendsten Anforderungen. Ein fis^4 wurde noch vollständig ausgelöscht.

In den folgenden Tabellen stelle ich nun meine diesbezüglichen Resultate zusammen.

I. Formanten nach Hermann.

Gesungene Vocale	Formanten	Ungefähr. Mittel u. Schwingungszahl n desselben	$\frac{\lambda}{4}$ dieses mittleren Tones	Es wird ausgelöscht der Violinenton	Gehörte Resultate a) bei Auslöschung eines Formanten	Gehörte Resultate b) bei Auslöschung zweier Formanten zusammen
A	e^2—gis^2	fis^2 740	11,5	fis^2	wird nasal mit Färbung nach *O*	
A^0	e^2—f^2	e^2—f^2 679	12,6	zwischen e^2 und f^2	nasal *A*, klingt in den höheren Lagen nach *U*	
O	c^2—dis^2	cis^2—d^2 570	15,0	zwischen cis^2 u. d^2	wenig nasal, in den höheren Lagen nach *U* oder *A*	
E	d^2—e^2	dis^2 622	13,7	dis^2	wird kaum verändert	wird nach *U* oder *O* zu verfärbt
	ais^3—h^3	ais^3—h^3 1919	4,4	zwischen ais^3 u. h^3	wird nach *U*, *O* oder *A* verändert	
I	e^4—f^4	e^4—f^4 2715	3,1	zwischen e^4 u. f^4	wird nasal mit einer geringen Färbung nach *u* zu	
U	c^1—f^1	d^1—dis^1 303	28,2	zwischen d^1 u. dis^1	in den tiefen Lagen *U*, in d. höhern nach *O* zu verändert	wird verschwommenes Brummen, *M*-artig, in den höhern Lagen *A*-artig nasal
	d^2—e^2	dis^2 622	13,7	dis^2	zwischen *Ä* u. *U*	
Ä	c^2—e^2	d^2 587	14,5	d^2	*Ä*-Klang nahezu verschwunden, wird nach *U* zu verändert	wird brummend, *U*-ähnlich
	fis^3—ais^3	gis^3 1661	5,1	gis^3	deutliches *A*	
Ö	f^3—g^3	fis^3 1480	5,7	fis^3	bleibt *Ö* in d. höheren Lagen nach *I* zu	
Ü	a^3—h^3	ais^3 1864	4,5	ais^3	unbestimmt, erinnert an *U* und *I*	

II. Resonanztöne nach Pipping.

Ges. Vocale	Resonanzton	Schwingungszahl n	$\frac{\lambda}{4}$	Ausgel. der Violinenton	Gehörte Resultate, wenn ausgelöscht sind: der eine Resonanzton	der 1. u. 2. Resonanzton	der 2. u. 3. Resonanzton	der 1. u. 3. Resonanzton	der 1. 2. u. 3. Resonanzton
A	*gis*²	830	10,2	*gis*²	wird nasal	wird nasal *N* (*ng*)			
	*cis*³	1108	7,7	*cis*³	nasal nach *Ä* verfärbt				
*A*⁰	*h*¹	494	17,3	*h*¹	wird nasal *A*⁰				
O	*g*¹	392	21,8	*g*¹	wird stark nasal nach *U* oder *A* verfärbt				
E	*f*¹	349	24,4	*f*¹	wird nasal	wird etwas nach *U* verfärbt	zwischen *U* und *Ä*	wird unbestimmt od. *Ä*	wird fast ganz *O* bis *U*
	*fis*³	1480	5,7	*fis*³	zwischen *E* u. *Ä*				
	*cis*⁴	2217	3,8	*cis*³	zwischen *E* u. *Ä*				
I	*d*¹	294	29,0	*d*¹	nasal *I*	etwas nach *U* zu	*N*-artig	*M*-artig	wird stark nach *U* verf.
	*cis*⁴	2217	3,8	*cis*⁴	zwischen *I* u. *Ä*				
	*fis*⁴	2960	2,9	*fis*⁴	brummend, etwas *I* zu hören				
U	*d*¹-*f*¹	*dis*¹-*e*¹ 320	26,6	*dis*¹-*e*¹	bleibt *U*	*M*-artig, in den höheren Lagen nach *ang* verfärbt			
	*d*³	1174	7,3	*d*³	brummendes *M*				
Ä	*g*²	784	10,9	*g*²	bleibt *Ä* bis *E*	wenig verändert			
	*fis*³	1480	5,7	*fis*³	bleibt *Ä*				
Ö	*f*¹	349	24,4	*f*¹	stark nasal, etwa *eng*	noch mehr nasal, i. d. tief. Lagen nach *U* zu			
	*g*³	1568	5,4	*g*³	unbestimmt *U*-artig				
Ü	*d*¹	294	29,0	*d*¹	wird *I*	wird dumpf *I* nach *U* zu			
	*c*⁴	2093	4,0	*c*⁴	unbestimmt zwischen *Ä* u. *Ö*				

Diese beiden Tabellen lehren Folgendes:

1) Die meisten Vocale, namentlich *A* und *O*, werden durch Auslöschung ihres Formanten und seiner ungeradzahligen Obertöne unter mehr oder weniger bedeutender Verschiebung ihres spezifischen Vokalklanges zu nasalirten Vocalen umgewandelt.

2) Diese Auslöschung ist für alle Vocale von grossem, aber nicht für alle von dem gleichen Einfluss. Alle Vocale mit hohen Formanten *E*, *I*, *Ü*, *Ö*, *Ä* werden hierdurch in ein tiefes, unbestimmtes (*M*, *N* oder *U* artiges) Brummen umgewandelt. Sind zwei oder mehr Formanten vorhanden, so ist die Auslöschung von allen wirksamer, als die von nur einem, und bei zwei Formanten die des höheren allein viel wirksamer, als die des tieferen allein.

A wird mässig stark verändert und zwar bei Auslöschung nur eines (Hermann) oder nur des tieferen Formanten (Pipping) mit nasalem Beiklang nach *O* zu verschoben, nach Auslöschung auch des zweiten höheren (Pipping) ganz vernichtet. Man hört nur ein unbestimmtes näselndes *äng*.

U wird namentlich in den tieferen Stimmlagen wenig verändert und wird nur mehr brummend, *M*-artig; in den höheren verschiebt es sich unter Annahme eines nasalen Beiklanges nach einem unbestimmten *A*-artigen Klange.

Völlig vernichtet wird durch Auslöschung des Hermann'schen Formenten das *Ä*. Die Auslöschung eines oder beider Pipping'schen Resonanztöne verändert es wenig.

O wird nasalirt und in einen unbestimmten *A* oder *U* artigen Klang umgewandelt.

Hieraus dürfte zu entnehmen sein, dass entweder die von uns gesungenen Vocale in dem einen Fall mehr denjenigen von Hermann, im anderen mehr denen von Pipping glichen oder dass die von den genannten Forschern angegebenen charakteristischen Tonhöhen nur dann die richtigen sind, wenn durch ihr Auslöschen der Vocalklang vollständig oder doch fast vollständig vernichtet wurde.

Im Allgemeinen möchte ich aus allen meinen Versuchen folgendes schliessen.

Charakteristisch für die Vocalklänge sind gewisse in ihnen enthaltene Töne von bestimmter Höhe, mögen diese nun durch

Resonanz verstärkte harmonische Obertöne oder irgend welche harmonische oder unharmonische, selbständige Mundtöne sein, worüber ich mir ein Urtheil nicht erlaube. Dieses Merkmal hat aber nicht für alle Vocale die gleiche Bedeutung. Sonst wäre es nicht zu verstehen, warum die Auslöschung des Grundtones (und seiner ungeradzahligen Obertöne) bei Bestehenbleiben des Formanten die verschiedenen Vocale so ganz verschieden beeinflusst, das *A* z. B. erhält und das *U* vernichtet. Da müssen noch andere Momente mitwirken.

Hiefür scheinen mir übrigens auch die Untersuchungen von Hermann[1]) mit der mikrophonischen und telephonischen Uebertragung von Vocalen zu sprechen. Auch Hermann findet, dass wenn er durch Telephon oder Mikrophon mehr die hohen oder die tiefen Töne abschwächt oder die Intensitäten der Theiltöne eines Vocalklanges verändert, die verschiedenen Vocale in sehr verschiedener Weise verschoben werden. Er sagt: „Am sichersten unter allen Vocalen erkennbar ist *A*. Die Vocale *E, I, Ä, Ö, U* werden sehr leicht miteinander verwechselt, dagegen fast niemals mit *A, O* oder *U*. *O* wird mit *U* leicht verwechselt, fast nie einer dieser Vocale mit *A*.“ Weiterhin sagt Hermann, dass diese Uebertragungen, welche durch Abschwächung hoher oder tiefer Töne die musikalischen Klänge stark verändern, „so gut wie ohne jeden Einfluss bleiben auf die Erkennbarkeit der Vocale“. Das *A* bleibt also *A*, ob man seine höheren oder tieferen Theiltöne in ihrer Intensität verändert, wenn nur ihre Höhe constant bleibt. *E, J, Ä* u. s. w. werden aber hierdurch verändert, sonst würde man sie eben nicht mit einander verwechseln.

Offenbar sind, wie es mir scheint, unsere Versuche mit den Hermann'schen in gewisser Beziehung durchaus in Parallele zu stellen. Er wie wir finden ganz im Allgemeinen, dass verschiedene Vocale verschieden beeinflusst werden durch Abschwächung beziehungsweise Verstärkung oder durch völliges Auslöschen gewisser Partialtöne. Diese Partialtöne können also nicht für alle Vocale dieselbe charakteristische Bedeutung haben.

Fragen wir uns nun, welche andere Momente neben diesem absoluten dies sein könnten, so kommen wir immer wieder auf relative Momente, z. B. auf das Stärkeverhältniss des Grundtons

1) Pflüger's Archiv Bd. 48, S. 543.

zu einem oder mehreren seiner Obertöne oder auf das Stärkeverhältniss verschiedener Obertöne zu einander, das sogenannte Verstärkungsgebiet oder ihre absolute Anzahl oder schliesslich auf die mehr oder weniger grosse musikalische Entfernung der Obertöne vom Grundton und von einander, ohne etwa desshalb die radical ratio von Lloyd als das allein Maassgebende anzusehen.

Die zuerst von Grützner und Andern in unvollkommener Weise, dann von Hermann mit guten Apparaten in vollkommener Art angestellten Versuche mit dem verschieden schnell gedrehten Phonographen sollten nach der Anschauung von Herrn Prof. Grützner noch einmal methodisch für die verschiedenen Vocale in verschiedenen Höhen mit genauer Angabe der Drehungsgeschwindigkeiten wiederholt werden. Denn dass bei diesen Versuchen nach den Angaben von Hermann[1]) ebenfalls das *A* am längsten seine Erkennbarkeit behielt, zeigt unwiderleglich, dass ein bestimmter Partialton oder Formant das allein Charakteristische für das *A* unmöglich sein kann. Aller Wahrscheinlichkeit nach wird es ebenso, ja vielleich noch mehr charakterisirt durch ein breites, ziemlich hoch gelegenes Verstärkungsgebiet mit zwei Höhepunkten (s. Tab. II auf S. 27); denn dann begreift man, dass es überhaupt — ausser eben durch die mehr oder weniger vollständige Zerstörung dieses Verstärkungsgebietes — so zu sagen nicht umzubringen ist und auch schwer umgebracht werden kann durch den genannten Phonographenversuch. Pipping[2]) erläutert dieses in treffender Weise folgendermaassen. Er sagt: „Nehmen wir an, dass das charakteristische Tongebiet eines Vocals sich von c^4 bis d^4 erstreckt. Durch Beschleunigung der Rotationsgeschwindigkeit transponiren wir den Vocalklang eine Terz höher. Das nunmehr vorhandene Verstärkungsgebiet erstreckt sich von e^4 bis fis^4, liegt also ganz ausserhalb des alten. Wenn das charakteristische Gebiet breiter ist und sich beispielsweise von g^2 bis g^3 erstreckt, so bedeutet die Transponirung um eine Terz verhältnissmässig wenig. Die Grenzen des neuen Gebietes sind h^2 und h^3, und letzteres hat die ganze Strecke von h^2 bis g^3 mit dem alten gemeinsam."

Wir müssen also für die Charakterisirung der Vocalklänge neben dem absoluten Moment, d. h. neben einem in dem Klange

1) Pflüger's Archiv Bd. 47, S. 42.

2) Zeitschr. für Biologie Bd. 31, N. F. 13, S. 556.

enthaltenen Ton von immer der gleichen absoluten Höhe noch andere Momente annehmen, die bei den einen Vocalen in stärkerer, bei den anderen in schwächerer Weise ihren bestimmenden Einfluss ausüben.

Zum Schlusse der Arbeit spreche ich meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. Grützner, der mich als Studirenden in diese Versuche einführte und bei denselben, sowie bei der Abfassung meiner Arbeit unausgesetzt in liebenswürdigster Weise mit Rath und That unterstützte, meinen aufrichtigen Dank aus. Auch allen denen, die mich bei den oft ermüdenden und abspannenden Versuchen durch ihre Stimme und ihr Gehör wacker unterstützten, sei an dieser Stelle bestens gedankt.